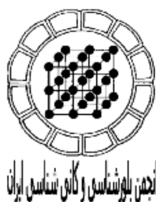
مجله
بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی و یکم، شمارهٔ سوم، پاییز ۱۴۰۲، از صفحهٔ ۵۲۳ تا ۵۳۶



پراکندگی پالیگورسکیت و مهم‌ترین کانی‌های رسی همراه در رسوب‌های دوران سنوزوئیک استان بوشهر

زینب نادری زاده*[1]، حسین خادمی[2]، شمس‌اله ایوبی[2]، مختار زلفی باوریانی[1]

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بوشهر، ایران

۲- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۸/۲۵، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۱۲/۸)

چکیده: هدف از این پژوهش، تعیین پراکندگی پالیگورسکیت و سیلیکات‌های رسی همراه در بخشی از رسوب‌های دوران سنوزوئیک استان بوشهر بوده است. به این منظور، تعداد ۱۳ نمونه از این سنگ‌ها جمع‌آوری و بخش رس آن‌ها با طیف‌سنج پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی گردید. نتایج نشان داد که برخی از رسوب‌ها، دارای کانی پالیگورسکیت هستند، اما شواهدی از حضور این کانی در شیل و مارن آهکی دوره کرتاسه پسین تا ائوسن یافت نشد. در بین سنگ‌های مورد بررسی، سازند آغاجاری (میوسن-پلیوسن) بیشترین مقدار پالیگورسکیت را دارد. کلریت، ایلیت، اسمکتیت و کائولینیت به همراه کوارتز به عنوان سایر کانی‌های موجود در سنگ‌های رسوبی منطقه شناسایی شدند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی به خوبی حضور پالیگورسکیت را در برخی از سنگ‌های رسوبی منطقه نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که در دوران سنوزوئیک، شرایطی چون دریاچه‌های کم‌عمق بین‌کوهی و کولاب‌ها در منطقه حضور داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: *پالیگورسکیت؛ سنوزوئیک؛ سیلیکات‌های رسی؛ استان بوشهر.*

مقدمه

کانی‌های رسی توالی‌های رسوبی (در مناطق غیر فعال از نظر زمین‌ساختی)، اغلب اقلیم، پستی و بلندی و سنگ‌شناسی مناطق منبع و آثار محیطی گذشته چون نوسان‌های سطح دریا و فعالیت‌های زمین‌ساختی را نشان می‌دهند [۱]. بنابراین، کانی‌شناسی رس‌ها به عنوان یک ابزار قدرتمند برای تفسیر شرایط هوازدگی و اقلیم گذشته مطرح است [۲]. انواع و فراوانی کانی‌های موجود در سنگ‌ها و رسوب‌ها می‌تواند اطلاعات خوبی در مورد ویژگی‌های سنگ و حوضه رسوب‌گذاری ارائه دهد [۳]. پالیگورسکیت، $(Mg,Al)_2Si_4O_{10}$ (OH). $4(H_2O)$، و سپیولیت، $Mg_8Si_{12}O_{30}$ $(OH)_4$ $(H_2O)_4.8H_2O$ از جمله کانی‌های رسی ۲:۱ با ریختار الیافی هستند که در محیط‌هایی چون رسوب‌های دریاچه‌ای و دریایی، خاک‌های نواحی خشک و در مناطق نزدیک فعالیت‌های گرمابی حضور دارند [۴]. سنگ‌های رسوبی سنوزوئیک در ایران نسبت‌های متفاوتی از کانی پالیگورسکیت را دارند [۵-۷]. فعالیت‌های کوهزایی که منجربه بسته‌شدن اقیانوس نئوتتیس در اواخر کرتاسه شده باعث گسترش دریاچه‌های شور کم‌عمق در دوران سنوزوئیک شده‌اند که از نظر شرایط شیمیایی برای تشکیل کانی پالیگورسکیت مطلوب هستند [۵]. در یک محیط تبخیری، این شرایط منجر به تشکیل گچ و در نتیجه افزایش نسبت منیزیم به کلسیم می‌شود [۵]. این امر باعث تشکیل مقدار زیادی پالیگورسکیت برجازا در نقاط مختلف دنیا بویژه در رسوب‌های نئوژن شده است [۸].

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۷۱۷۴۳۷۲۴ ، نمابر: ۰۷۷۳۳۳۲۶۹۱۳، پست الکترونیکی: naderizadeh_zeinab86@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.8.3]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.523]

وجود پالیگورسکیت در ایران [۵، ۶]، جنوب [۹]، مشهد [۷] و مکان‌های دیگر از کشور نشان‌دهنده شرایط مشابه در اوایل و اواسط دوران سنوزوئیک در این مناطق است و می‌توان گفت که رسوب‌های این دوران خاستگاه اصلی رس‌های الیافی در دنیا هستند. نخستین بار در سال ۱۹۵۸، حضور پالیگورسکیت را در رسوب‌ها و خاک‌هایی از ایران گزارش کردند [۱۰]. نتایج آن پژوهش نشان داد که بخش نامحلول سنگ آهک ائوسن از غرب کرمانشاه و دولومیت آسماری در غرب خرم‌آباد غنی از پالیگورسکیت هستند [۱۰]. در پژوهشی دیگر، وجود پالیگورسکیت در سنگ‌های آهکی کرمانشاه گزارش شده، اما اثری از این کانی در خاک‌های آبرفتی منطقه نبوده است [۱۱]. مقادیر زیاد پالیگورسکیت در رسوب‌های نئوژن دشت لوت در ایران مرکزی گزارش شده است. در آن پژوهش، پوشش بلور-های پالیگورسکیت روی بلورهای گچ دیده شد. پژوهشگران پیشنهاد داده‌اند پالیگورسکیت پس از تشکیل ذرات گچ شکل گرفته است [۱۲]. در پژوهشی دیگر گسترش پالیگورسکیت در برخی رسوب‌های سنوزوئیک ایران مرکزی بررسی شد. نتایج نشان داد که پالیگورسکیت در رسوب‌های پالئوسن، ائوسن و الیگوسن استان اصفهان حضور ندارد. این پژوهشگران بیان کردند که گرچه از اواخر پالئوسن تا اوایل ائوسن بخش‌های مختلف اقیانوس نئوتتیس الگوهای مختلفی از توزیع کانی پالیگورسکیت را نشان می‌دهند، به نظر می‌رسد که در ایران مرکزی شرایط تشکیل کانی پالیگورسکیت تا اواخر الیگوسن فراهم نبوده است. در مقابل، مقادیر زیادی از این کانی در نمونه‌های وابسته به سنین میوسن و پلیوسن دیده شد. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی و تجزیه زمین شیمیایی رسوب‌ها، این پژوهشگران تشکیل درجای پالیگورسکیت را در آنها پیشنهاد دادند [۱۳].

تاکنون پژوهش‌های بسیاری پیرامون پراکندگی کانی‌های رسی بویژه کانی‌های الیافی در خاک‌ها و رسوب‌های کشور انجام شده که در بیشتر آنها، حضور کانی رشته‌ای پالیگورسکیت در رسوب‌ها و سنگ‌های دوران سنوزوئیک بررسی گردیده و عمده آن‌ها مربوط به ایران مرکزی بوده است. افزون بر این، بررسی‌هایی نیز در جنوب [۹، ۱۴]، غرب [۱۵، ۱۶] و شمال‌شرق ایران [۷] انجام شده است. با وجود گسترش بسیار رسوب‌های با سن سنوزوئیک در استان بوشهر، پراکنش کانی پالیگورسکیت و کانی‌های رسی همراه در رسوب‌های مهم این دوران بررسی نشده است. بنابراین در این پژوهش، پراکنش کانی پالیگورسکیت و کانی‌های رسی همراه در رسوب‌های بخشی از دوران سنوزوئیک استان بوشهر بررسی شد.

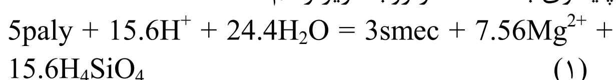
روش بررسی

معرفی منطقه

وجود عوامل بسیار مهم ساختاری چون گنبدهای نمکی، گسل کازرون، بلندی‌های قدیمی، تداخل و اثر حرکت‌های زمین-شناسی ناشی از صفحه عربی و تفاوت‌های کلی سکوی فارس و فروافتادگی دزفول سبب پیچیدگی چینه‌شناسی استان بوشهر شده است [۱۷]. با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی استان، مهم-ترین سازندها شامل آغاجاری، بختیاری، آسماری–جهرم، گچساران، میشان، بنگستان، پابده- گورپی، گوری و ایلام - سروک بوده که اغلب مربوط به اوایل و اواسط دوران سنوزوئیک هستند. رسوب‌های کواترنری نیز بخش‌هایی از استان بوشهر بویژه در نواحی ساحلی را می‌پوشانند.

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

برای بررسی حضور کانی پالیگورسکیت و سایر کانی‌های رسی در سنگ‌های رسوبی بخشی از دوران سنوزوئیک استان بوشهر، بر اساس بازدیدهای صحرایی و نقشه‌های زمین‌شناسی استان، از ۱۳ واحد سنگی مهم منطقه به شرح شکل ۱، نمونه‌برداری شد. در شکل ۲، موقعیت نقاط نمونه‌برداری در استان بوشهر نشان داده شده است. نمونه‌های سنگی پس از جمع‌آوری به آزمایشگاه کمک‌پژوهشی گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان ارسال شدند، آنها با آسیاب خرد شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. مقادیر کربنات کلسیم معادل و گچ به ترتیب به روش‌های تیتر کردن برگشتی با اسیدکلریدریک ۲ نرمال [۱۸] و گرمادهی [۱۹] تعیین شدند. مقدار کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع با دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elmer 3030 اندازه‌گیری گردید. مقدار سیلیسیم محلول در عصاره اشباع نیز با روش رنگ‌سنجی [۱۸] میزان pH و هدایت الکتریکی به ترتیب با pHسنج و EC متر تعیین شدند. برای نمونه‌های سنگی مورد بررسی، نمودار پایداری با استفاده از روابط زیر رسم شدند [۲۰]:



$$5paly + 15.6H^+ + 24.4H_2O = 3smec + 7.56Mg^{2+} + 15.6H_4SiO_4 \quad (۱)$$

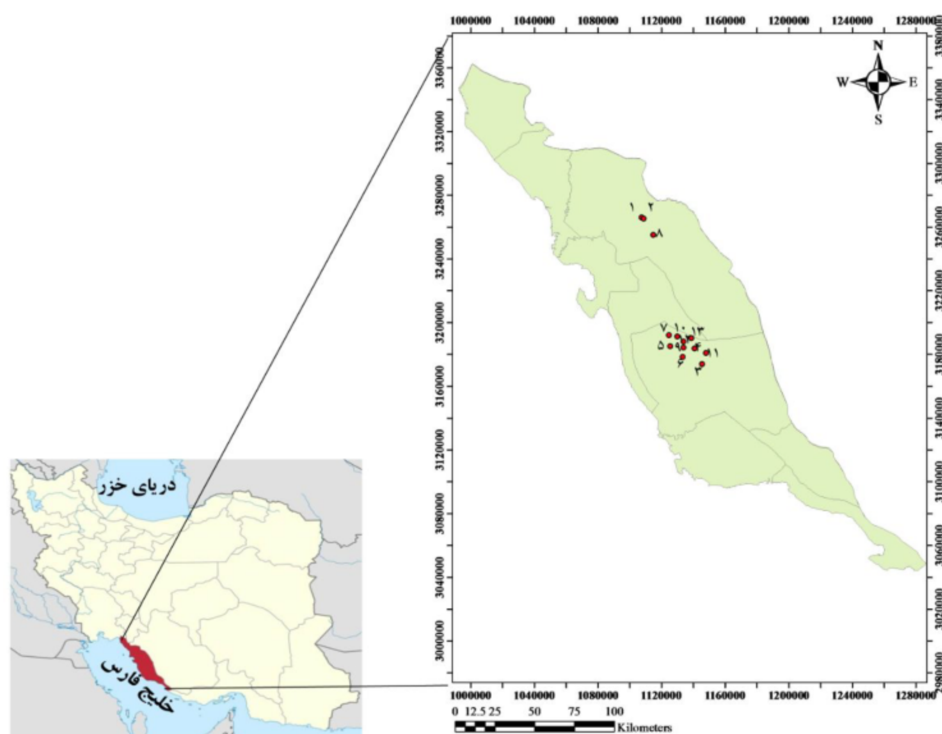
$$Log_{(Ksmec-palyg)} = \log(Mg^{2+}) + 2pH + 2\log(H_4SiO_4) = 5.75 \quad (۲)$$

که‌play و smec به ترتیب پالیگورسکیت و اسمکتیت هستند. برای کانی‌شناسی بخش رس، نخست کربنات‌ها و نمک‌های محلول نمونه‌ها با استفاده از استات سدیم حذف گردیدند. سپس با چند بار شستشو با آب مقطر، گچ نمونه‌ها نیز خارج شد. حذف ماده آلی و اکسیدهای آهن به ترتیب با آب اکسیژنه ۳۰ درصد و سیترات بیکربنات دی‌تیونات صورت گرفت [۲۱]. سپس برای کانی‌شناسی، اجزای مختلف هر نمونه تفکیک و مقدار ۵۰ میلی‌گرم از بخش رس آنها پس از تیمارهای اشباع با منیزیم، اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول، اشباع با پتاسیم و تیمار گرمایی نمونه اشباع با پتاسیم با پراش‌سنج پرتو ایکس (XRD) در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی شمال غرب کشور (تبریز) بررسی گردید. ریخت‌شناسی برخی از نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شد. برای این منظور، نمونه‌های کوچک و دست نخورده از سنگ‌ها بر پایه‌های آلومینیومی قرار داده شد و پس از ایجاد پوشش طلا روی آن‌ها تصاویر SEM آنها ثبت شد. ترکیب عنصری برخی از نمونه‌ها نیز با (EDX) طیف‌سنج پراکندگی انرژی پرتوی ایکس تعیین گردید. ترکیب عنصری نمونه‌ها و ریختار آن‌ها به ترتیب با دستگاه‌های SEM/EDX مدل Philips XI30 وSeron AIS 2300 در دانشکده مواد دانشگاه صنعتی اصفهان بررسی شد.

سنوزوئیک	پلیوسن پسین	سازند بختیاری		کنگلومرای مارنی شنی (۱ و ۲)
	پلیوسن	سازند آغاجاری		ماسه سنگ (۳)، مارن قرمز (۴)
	میوسن	سازند میشان		مارن قرمز (۵) مارن خاکستری-زرد (۶)
		گوری		مارن (۷)
		سازند گچساران		مارن (۸)
		سازند آسماری-جهرم	سازند آسماری	سنگ آهک (۹)
	الیگوسن			سنگ آهک دولومیتی (۱۰)
	ائوسن-پالئوسن		سازند جهرم	سنگ آهک (۱۱)
		سازند پابده-گورپی	سازند پابده	مارن آهکی (۱۲)
				شیل آهکی (۱۳)
مزوزوئیک	کرتاسه پسین			

شکل ۱ ستون چینه‌شناسی در منطقه مورد بررسی (سنگ‌های رسوبی مورد بررسی به رنگ خاکستری و از ۱ تا ۱۳ شماره‌گذاری شده است).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.8.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.523]



شکل ۲ جایگاه استان بوشهر در نقشه ایران و موقعیت نقاط نمونه‌برداری.

بحث و بررسی

مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی سنگ‌های رسوبی

در جدول ۱، برخی ویژگی‌های سنگ‌های رسوبی ارائه شده است. دیده می‌شود که pH همه نمونه‌ها بالای ۸ است. مقدار آهک نیز از ۶۷ تا ۹۹ درصد متغیر بوده که نشان‌دهنده وجود شرایط قلیایی در زمان تشکیل این رسوب هاست. مقدار گچ نیز از ۰٫۳۸ تا ۳٫۶۳ درصد متغیر است. البته بخشی از سازند گچساران را انیدریت تشکیل می‌دهد و از آن به عنوان معادن گچ استفاده می‌شود و بر خاک‌های منطقه مورد بررسی نیز اثر دارند.

کانی‌شناسی رسی سنگ‌های رسوبی

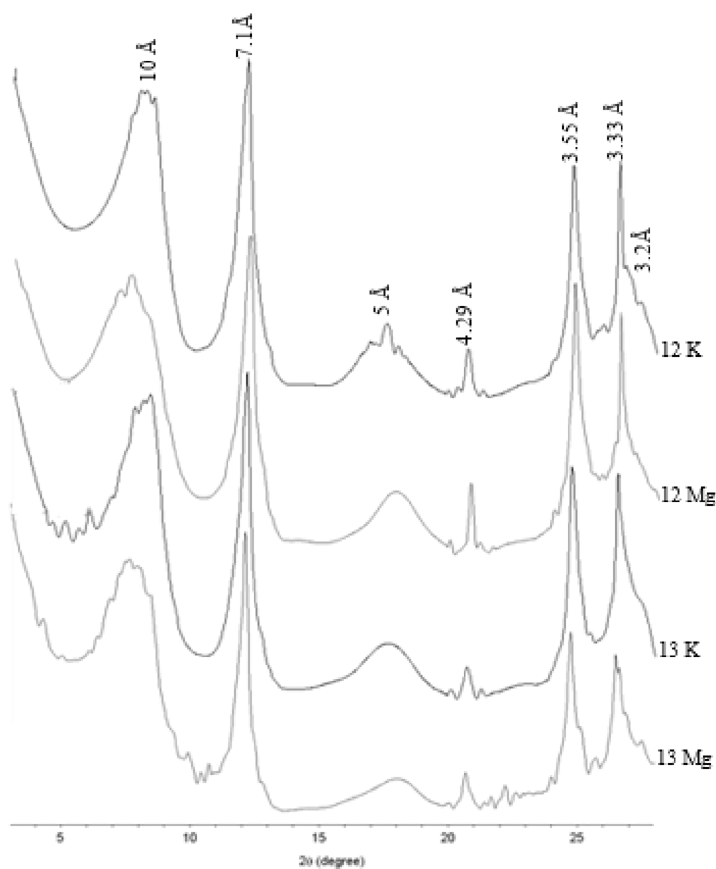
نتایج کانی‌شناسی بخش رسی نمونه‌های سنگ رسوبی (دوران سنوزوئیک) برداشت شده از منطقه مورد بررسی، در شکل‌های ۳ تا ۷ دیده می‌شود. پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس نشان‌دهنده حضور کانی‌های پالیگورسکیت، کلریت، اسمکتیت، ایلیت و کائولینیت به همراه کوارتز، با مقادیر متفاوت، در سنگ‌های با سنین مختلف است.

در شیل آهکی سازند پابده-گورپی که قدیمی‌ترین واحد سنگ در بین نمونه‌های مورد بررسی و مربوط به گستره زمانی کرتاسه پسین-ائوسن است، قله‌ی ۶٫۵ آنگستروم مربوط به کانی پالیگورسکیت دیده نمی‌شود، اما قله‌های مربوط به کانی‌های کائولینیت، ایلیت و کوارتز وجود دارد (شکل ۳). مارن آهکی پابده نیز که مربوط به پالئوسن-ائوسن است، کانی‌هایی شبیه شیل آهکی پابده دارد (شکل ۳). به نظر می‌رسد که در اواخر دوره کرتاسه و اوایل دوران سنوزوئیک یعنی زمان تشکیل این دو سازند، شرایط تشکیل کانی پالیگورسکیت در سنگ‌های رسوبی منطقه مورد بررسی وجود نداشته است.

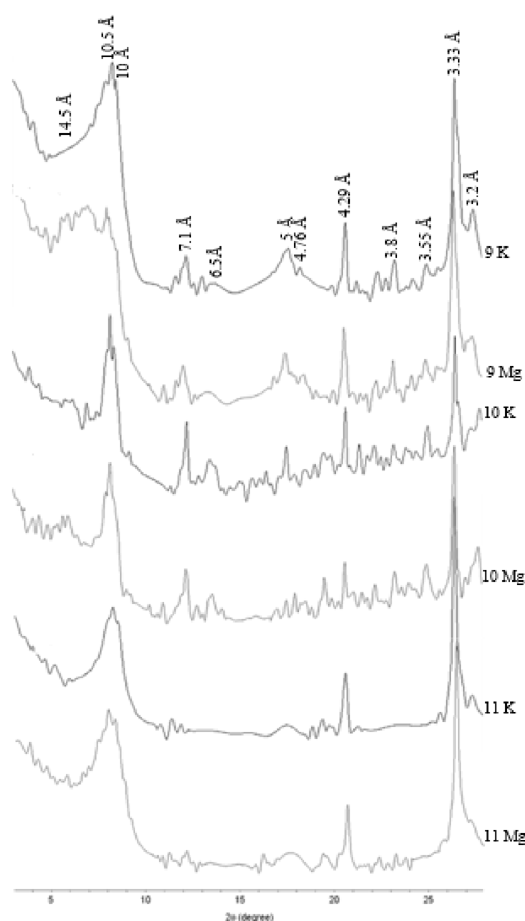
سنگ آهک سازند جهرم (پالئوسن-ائوسن) شبیه سنگ‌های رسوبی پیشین، دربردارنده کانی‌های ایلیت و کوارتز است و همچنین دارای کانی‌های اسمکتیت، کلریت و پالیگورسکیت به مقدار بسیار کم است (شکل ۴). در سنگ آهک آسماری و سنگ آهک دولومیتی آسماری-جهرم که جوان‌تر از سنگ‌های رسوبی پیشین هستند، نیز کانی‌های ایلیت، کلریت (بسیار ناچیز)، اسمکتیت، کوارتز و پالیگورسکیت وجود دارند. شدت قله ۶٫۵ آنگستروم پالیگورسکیت در این دو سنگ بیشتر از سنگ آهک جهرم است (شکل ۴). با توجه به این موارد می‌توان نتیجه گرفت که در بخشی از پالئوسن، شرایط تشکیل کانی پالیگورسکیت فراهم بوده است، به طوری که نخستین شواهد حضور این کانی در سنگ آهک جهرم به مقدار بسیار ناچیز دیده می‌شود. در سنگ آهک‌های با سنین مختلف، کانی کائولینیت دیده نشد.

جدول ۱ مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی سنگ‌های رسوبی مورد بررسی.

شماره نمونه	آهک (٪)	گچ (٪)	میزان اسیدی بودن	رسانندگی الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	Mg^{2+} ($meq\ L^{-1}$)	Ca^{2+} ($meq\ L^{-1}$)	Mg/Ca	H_4SiO_4 (ppm)
۱	۹۱٫۰۰	۱٫۰۵	۸٫۳۷	۲٫۱۳	۰٫۵۰	۱۰٫۸	۰٫۰۵	۱٫۲۷
۲	۹۲٫۰۰	۱٫۱۵	۸٫۱۳	۲٫۱۰	۱٫۰۰	۲۱٫۷۸	۰٫۰۵	۰٫۵۸
۳	۸۱٫۵۰	۳٫۶۳	۸٫۸۴	۱٫۲۸	۱٫۸۳	۱٫۹	۰٫۹۶	۱٫۳۹
۴	۷۰٫۰۰	۱٫۶۲	۸٫۱۳	۲٫۱۷	۲٫۸۸	۳٫۷۸	۰٫۷۶	۰٫۸۸
۵	۹۵٫۰۰	۰٫۶۷	۸٫۵۷	۱٫۷۹	۱٫۰۸	۳٫۸۵	۰٫۲۸	۰٫۶۹
۶	۷۵٫۰۰	۳٫۱۵	۸٫۴۰	۰٫۸۶	۱٫۹۲	۳٫۰۸	۰٫۶۲	۱٫۷۶
۷	۸۶٫۵۰	۱٫۵۳	۸٫۵۰	۰٫۵۵	۰٫۷۵	۳٫۸۳	۰٫۲۰	۰٫۹۴
۸	۶۷٫۰۰	۲٫۸۶	۸٫۱۵	۱٫۴۵	۲٫۶۷	۸٫۸۵	۰٫۳۰	۱٫۵۱
۹	۹۸٫۵۰	۰٫۵۷	۸٫۸۲	۰٫۳۵	۰٫۳۳	۱٫۲۲	۰٫۲۷	۰٫۴۰
۱۰	۹۹٫۵۰	۰٫۳۸	۸٫۴۱	۰٫۸۵	۱٫۰۸	۶٫۵	۰٫۱۷	۰٫۴۴
۱۱	۹۲٫۵۰	۰٫۸۶	۸٫۲۶	۱٫۰۳	۰٫۹۶	۶٫۹	۰٫۱۴	۱٫۱۶
۱۲	۹۵٫۰۰	۰٫۴۱	۸٫۶۶	۰٫۲۱	۰٫۳۸	۲٫۱۵	۰٫۱۸	۱٫۹۲
۱۳	۸۸٫۵۰	۱٫۵۳	۸٫۳۴	۰٫۲۹	۰٫۲۵	۲٫۵۵	۰٫۱۰	۰٫۹۶



شکل ۳ پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس نمونه‌های با تیمارهای اشباع با منیزیم (Mg) و پتاسیم (K) بخش رس شیل آهکی پابده-گورپی (شماره ۱۳) و مارن آهکی پابده (شماره ۱۲) (با کم‌شدن شماره، سن سنگ کاهش می‌یابد).

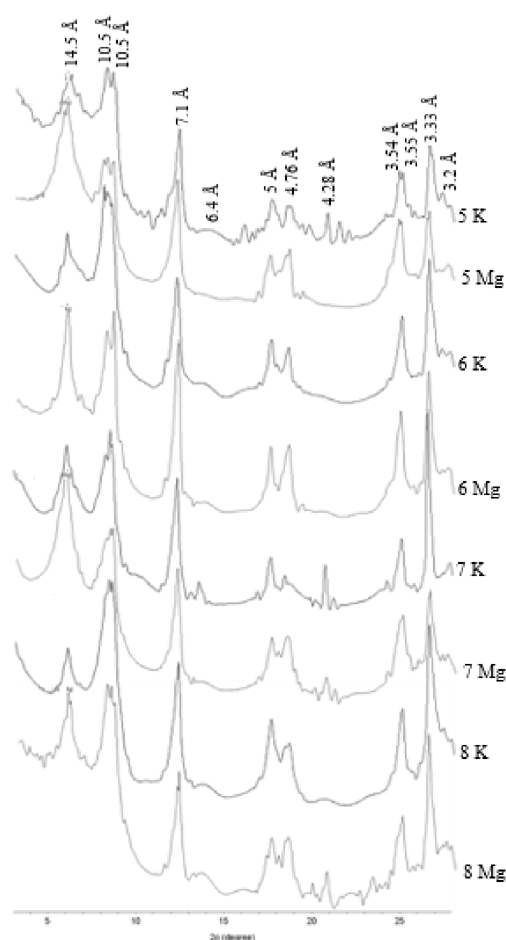


شکل ۴ پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس نمونه‌های با تیمارهای اشباع با منیزیم (Mg) و پتاسیم (K) سنگ آهک جهرم (شماره ۱۱)، سنگ آهک دولومیتی آسماری- جهرم (شماره ۱۰) و سنگ آهک آسماری (شماره ۹) (با کم‌شدن شماره، سن سنگ کاهش می‌یابد).

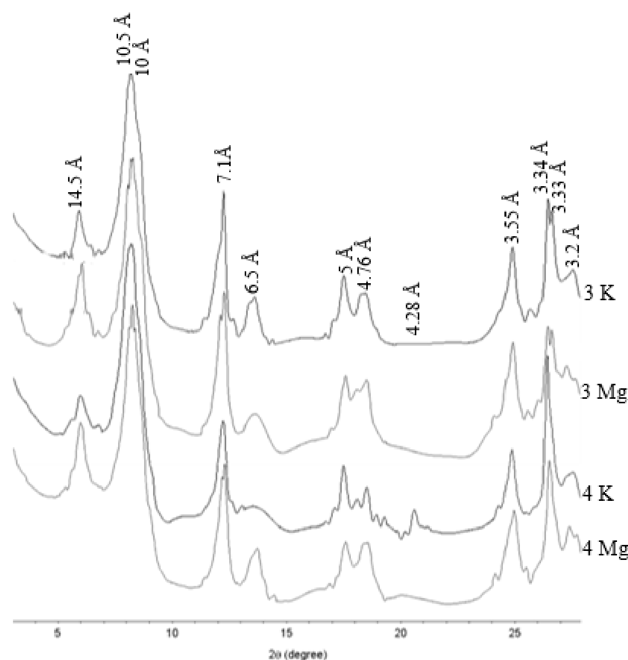
با جوان‌تر شدن سنگ‌های رسوبی یعنی در مارن گچساران که در میوسن تشکیل شده شدت قله ۶٫۵ آنگستروم مربوط به پالیگورسکیت افزایش یافته است. کانی‌های ایلیت، کلریت، کائولینیت، اسمکتیت و کوارتز نیز به عنوان کانی‌های همراه پالیگورسکیت در مارن گچساران حضور دارند (شکل ۵). در سنگ‌های رسوبی مارنی با سن میوسن نیز کانی‌های ایلیت، کلریت، کائولینیت، اسمکتیت، کوارتز و پالیگورسکیت دیده می‌شوند (شکل ۵). به نظر می‌رسد که در میوسن، شرایط تشکیل پالیگورسکیت در مارن گچساران و مارن خاکستری-زرد میشان نسبت به بقیه مارن‌ها بیشتر فراهم بوده است.

با کاهش سن سنگ‌های رسوبی در منطقه، در اواخر میوسن و اوایل پلیوسن که ماسه سنگ و مارن قرمز سازند آغاجاری عمده سنگ‌های رسوبی این سن را تشکیل می‌دهند، شدت قله ۶٫۵ آنگستروم مربوط به کانی پالیگورسکیت بسیار افزایش یافته است و در واقع در بین نمونه‌ها بیشترین شدت این قله در سنگ‌های رسوبی مربوط به سازند آغاجاری دیده می‌شود. افزون براین کانی، کانی‌های ایلیت، اسمکتیت، کلریت، کائولینیت و کوارتز نیز در این دو سنگ رسوبی وجود دارند (شکل ۶). مقدار کانی کلریت در مارن‌های مربوط به میوسن نسبت به سنگ‌های رسوبی دیگر به طور قابل‌توجهی افزایش یافته است.

این نتایج نشان می‌دهند که با شروع دوران سنوزوئیک و با جوان‌تر شدن سنگ‌های رسوبی منطقه، شواهد حضور پالیگورسکیت در منطقه وجود دارد. شدت قله مربوط به پالیگورسکیت در سنگ‌های رسوبی با سن میوسن نسبت به سنگ آهک دولومیتی و سنگ آهک آسماری که مربوط به سنین قدیمی‌تر هستند، بیشتر است. در این پژوهش، بیشترین مقدار پالیگورسکیت در سنگ‌های رسوبی سازند آغاجاری که مربوط به اواخر میوسن و اوایل پلیوسن هستند، دیده شد. همچنین نخستین شواهد حضور پالیگورسکیت در سنگ‌های رسوبی مربوط به سازند جهرم (سنگ آهک) که گستره سنی آن از پالئوسن تا ائوسن است، وجود داشت. بنابراین شرایط تشکیل کانی پالیگورسکیت در بخشی از پالئوسن فراهم بوده است.



شکل ۵ پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس نمونه‌های با تیمارهای اشباع با منیزیم (Mg) و پتاسیم (K) بخش رس مارن گچساران (شماره ۸)، مارن گوری (شماره ۷)، مارن خاکستری-زرد میشان (شماره ۶) و مارن قرمز میشان (شماره ۵) (با کم‌شدن شماره، سن سنگ کاهش می‌یابد).



شکل ۶ پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس نمونه‌های با تیمارهای اشباع با منیزیم (Mg) و پتاسیم (K) بخش رس مارن قرمز آغاجاری (شماره ۴) و ماسه‌سنگ آغاجاری (شماره ۳) .

کمترین شدت قله کانی اسمکتیت در نمونه‌های مربوط به سازندهای جهرم و آسماری - جهرم دیده می‌شود. بیشترین شدت آن نیز مربوط به سازند میشان است. نتایج پژوهشی در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داد که کانی اسمکتیت در رسوب‌های آغاجاری در مقایسه با رسوب‌های گچساران و میشان غالب است. اما در دو سازند گچساران و میشان، ایلیت و کلریت فراوان هستند. در این پژوهش، پالیگورسکیت، کلریت، ایلیت، اسمکتیت به عنوان کانی‌های رسی مهم به همراه کوارتز در نمونه‌های سنگ و خاک معرفی شده‌اند [۹].

کنگلومرای مارنی شنی با سن پلیوسن پسین مربوط به سازند بختیاری که بخش زیادی از سنگ‌های رسوبی منطقه را تشکیل می‌دهد و جوان‌ترین سنگ رسوبی دوره نئوژن بوده، دارای کانی‌های ایلیت، کائولینیت و کوارتز است. افزون براین، کانی‌های پالیگورسکیت و کلریت نیز به مقدار بسیار ناچیز در آن وجود دارند. کانی اسمکتیت در این سنگ رسوبی دیده نشد (شکل ۷).

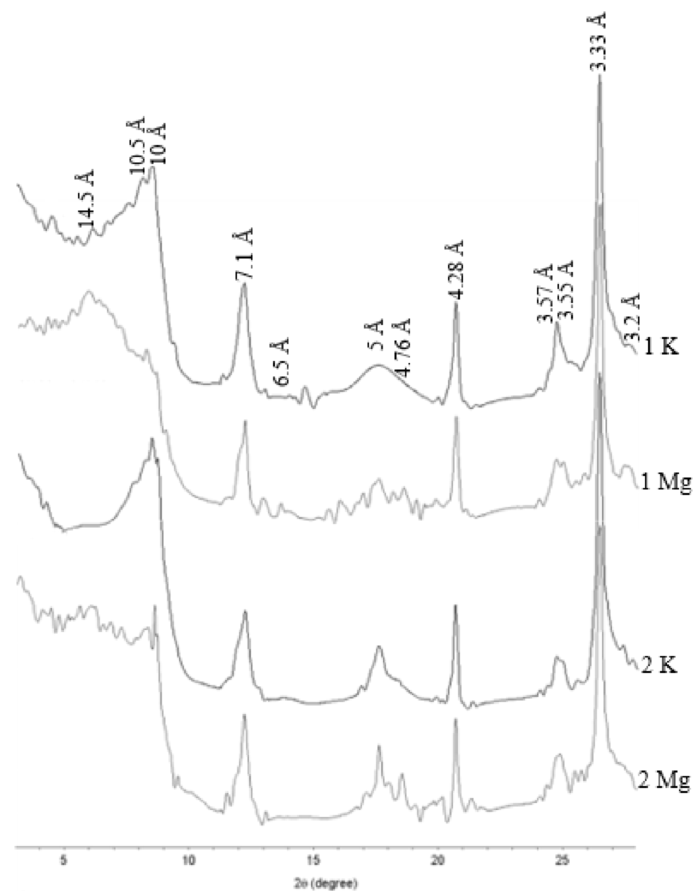
در پژوهشی، وجود کانی پالیگورسکیت در برخی رسوب‌های ایران مرکزی ثابت شده است و این کانی را به عنوان کانی غالب سیلیکاتی موجود در رسوب‌های آهکی وابسته به دوره الیگوسن - میوسن در این منطقه معرفی کرده‌اند [۵]. همچنین حضور پالیگورسکیت در رسوب‌های نئوژن کویر لوت گزارش شده است [۱۲]. افزون براین در پژوهشی حضور پالیگورسکیت در رسوب‌های دوران سنوزوئیک ایران مرکزی بررسی شده است [۶] و مشخص شد که این کانی در رسوب‌های با سن پالئوسن، ائوسن و الیگوسن وجود ندارد، در حالی‌که رسوب‌های با سن میوسن و پلیوسن دربردارنده مقادیر قابل‌توجه کانی پالیگورسکیت هستند. همچنین اسمکتیت فراوان‌ترین کانی همراه با پالیگورسکیت گزارش شد. با جوان‌تر شدن رسوب‌های دوران سنوزوئیک، بر مقدار کانی پالیگورسکیت افزوده می‌شود، به طوری که در رسوب‌های پلیوسن، بیشترین مقدار کانی پالیگورسکیت دیده می‌شود. اگر چه از اواخر پالئوسن تا اوایل ائوسن بخش‌های مختلف اقیانوس نئوتتیس الگوهای مختلفی از توزیع کانی پالیگورسکیت را نشان می‌دهند، به نظر می‌رسد که در ایران مرکزی شرایط تشکیل کانی پالیگورسکیت تا اواخر الیگوسن فراهم نبوده است [۶]. با توجه به نتایج این پژوهش، شرایط مناسب برای حضور و تشکیل کانی پالیگورسکیت در رسوب‌های سنوزوئیک استان بوشهر پیش از ایران مرکزی فراهم بوده است.

با بررسی سنگ‌های اواخر مزوزوئیک-سنوزوئیک در بخشی از کوه‌های زاگرس در جنوب ایران، دیده شد که با شروع دوران سنوزوئیک، ناپدید شدن تدریجی کائولینیت و همزمان افزایش اسمکتیت و پالیگورسکیت رخ داده است [۱۴]. حضور پالیگورسکیت و اسمکتیت در رسوب‌های اواخر پالئوسن به احتمال بسیار به علت افزایش خشکی بوده که تاکنون نیز ادامه یافته است. نتایج همچنین نشان داد که به احتمال بسیار منبع اصلی کائولینیت، اسمکتیت، کلریت و ایلیت در منطقه مورد بررسی، از نوع آواری بوده است، اما نوتشکیلی درجای پالیگورسکیت برای حضور این کانی پیشنهاد شد [۱۴].

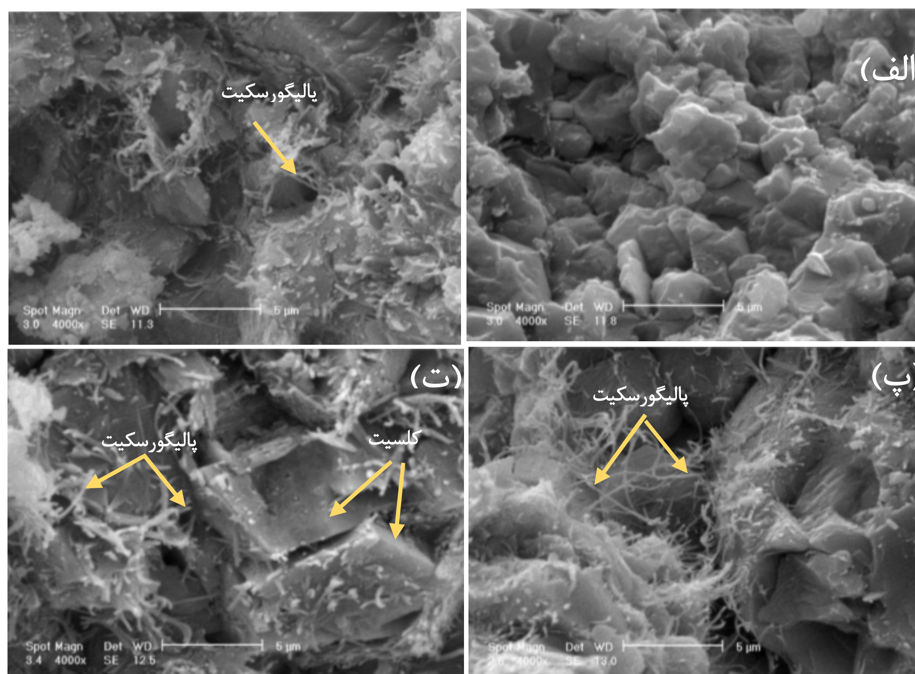
حضور مقادیر زیادی از پالیگورسکیت در رسوب‌های قاره‌ای ائوسن در کشور تونس گزارش شده است [۲۲]. افزون بر پالیگورسکیت، کانی‌های دیگری چون ایلیت، کائولینیت، اسمکتیت‌های منیزیم‌دار و آلومینیوم‌دار (به صورت همراه با کانی‌های کربناتی مانند کلسیت یا دولومیت)، کوارتز، گچ و فلدسپار نیز در بخش رسی دیده شد [۲۲]. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که در مناطقی که در معرض اقیانوس نئوتتیس و رخدادهای پس از بسته شدن آن قرار داشته‌اند، زمان فراهم شدن شرایط برای تشکیل کانی‌های الیافی چون پالیگورسکیت متفاوت است. علت این امر را می‌توان به نیاز به فراهم شدن شرایط زمین‌شیمی مناسب در کولاب‌ها و مناطق کم‌عمق ایجاد شده پس از بسته شدن اقیانوس نئوتتیس نسبت داد. فعالیت بالای منیزیم و اسیدسیلیسیک، میزان اسیدی بودن بالا و افزایش نسبت منیزیم به کلسیم از جمله شرایط لازم برای تشکیل این کانی‌ها هستند که در مناطق مختلف، در زمان‌های متفاوتی از دوران سنوزوئیک مهیا شده‌اند.

ریختار نمونه‌ها

در سنگ‌های رسوبی دارای کانی پالیگورسکیت، این کانی به صورت رشته‌هایی در فضای بین ذرات دیگر و یا زمینه‌ای از کلسیت دیده شد (شکل ۸). در تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مارن آهکی سازند پابده (شکل ۸ الف)، نبود کانی پالیگورسکیت مشخص است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مارن گچساران، مارن خاکستری - زرد میشان و مارن آغاجاری نشان می‌دهند که رشته‌های پالیگورسکیت روی ذرات و در فضای بین ذرات رشد کرده‌اند. رشته‌های پالیگورسکیت در مارن میشان کشیده‌تر و دارای ضخامت کمتری نسبت به دو نمونه دیگر هستند. رشته‌های بلندتر کانی‌های رشته‌ای به ویژه پالیگورسکیت همراه با ریختار درختی اغلب به تشکیل درجای این کانی نسبت داده می‌شود و در مقابل، رشته‌های کوتاه این کانی نشانگر خاستگاه تخریبی (آواری) کانی هستند [۵، ۶].



شکل ۷ پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس نمونه‌های با تیمارهای اشباع با منیزیم (Mg) و پتاسیم (K) بخش رس کنگلومرای مارنی شنی بختیاری (شماره ۲) و کنگلومرای مارنی شنی بختیاری (شماره ۱).



شکل ۸ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌هایی از سنگ‌های رسوبی منطقه مورد بررسی، شامل مارن آهکی پابده (الف)، مارن گچساران (ب)، مارن خاکستری-زرد میشان (پ) و مارن آغاجاری (ت).

همچنین در این نمونه، رشته‌ها بیشتر در فضای بین ذرات قرار دارند (شکل ۸ پ).

رشته‌های کانی پالیگورسکیت در مارن آغاجاری روی زمینه‌ای از ذرات کلسیت قرار داشته و ضخامت بیشتری دارند (شکل ۸ ت). همراهی کانی‌های پالیگورسکیت و کلسیت نشان دهنده وجود شرایط مساعد برای تشکیل این کانی الیافی در آن زمان است. کانی‌های پالیگورسکیت و سپیولیت هر دو به شکل رشته‌هایی در تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی دیده می-شوند، اما براساس نتایج پراش پرتو ایکس در این پژوهش، کانی رشته‌ای موجود در این تصاویر، پالیگورسکیت است.

ترکیب شیمیایی بخش رس سنگ‌های رسوبی

ترکیب شیمیایی بخش رس سنگ‌های رسوبی مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مانند نسبت منیزیم به کلسیم در بخش محلول این سنگ‌ها، بیشترین مقدار نسبت منیزیم به کلسیم در بخش رس بدون کربنات سنگهای رسوبی نیز مربوط به گستره زمانی میوسن-پلیوسن یعنی زمان تشکیل سازند آغاجاری است. این نتایج نیز مقدار بیشتر کانی پالیگورسکیت در نمونه‌های مربوط به این سن را بخوبی تایید می‌نماید.

ضرایب همبستگی بین شدت قله‌های پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس (XRD) مربوط به پالیگورسکیت (۶/۵ آنگستروم) و اسمکتیت (قله‌های ۱۵ تا ۱۸ آنگستروم) بخش رس نمونه ها و سایر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در سنگ‌های رسوبی منطقه در جدول ۳ آورده شده‌اند. شدت قله ۶/۵ آنگستروم (مربوط به کانی پالیگورسکیت) با منیزیم محلول (**۰/۸۳)، نسبت منیزیم به کلسیم محلول (**۰/۸۲)، کلسیم کل (**۰/۹۰-)، نسبت منیزیم به کلسیم کل (**۰/۸۲)، کربنات (**۰/۸۰-) و گچ (**۰/۸۲) همبستگی معنی‌دار آماری نشان می‌دهد. همبستگی مثبت معنی‌دار بین مقدار گچ و کانی پالیگورسکیت نشان دهنده نقش مهم گچ در تشکیل و حفظ شرایط پایداری این کانی است. پژوهشگران همبستگی مثبت بین Mg/Ca و کانی پالیگورسکیت را از عوامل اصلی در تشکیل و پراکنش پالیگورسکیت در خاک و سنگ‌های رسوبی می‌دانند [۵، ۱۳]. همبستگی بین شدت قله مربوط به اسمکتیت و سایر ویژگی-های سنگ‌ها نیز در جدول ۳ ارائه شده است. بین شدت قله-های مربوط به پالیگورسکیت و اسمکتیت همبستگی منفی دیده شد. البته این همبستگی در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد معنی‌دار نبود. همبستگی منفی بین شدت قله‌های پالیگورسکیت و اسمکتیت به احتمال بسیار گویای تبدیل اسمکتیت به پالیگورسکیت با نسبت منیزیم به کلسیم بالا و تبدیل پالیگورسکیت به اسمکتیت در محیط دارای نسبت پایین منیزیم به کلسیم است [۱۳]. در پژوهشی گزارش شده است که نسبت منیزیم به کلسیم محلول، میزان اسیدی بودن، مقدار گچ، مقدار سیلیس محلول و مقدار کانی پالیگورسکیت در خاک‌ها و سنگ‌های رسوبی دوران سنوزوئیک ارتباط شدید و مثبت با هم دارند، حال آنکه بین مقدار اسمکتیت و رسانندگی الکتریکی با مقدار پالیگورسکیت در خاک‌ها و رسوب‌ها همبستگی منفی دیده می‌شود [۲۳].

نمودار پایداری اسمکتیت - پالیگورسکیت در سنگ‌های رسوبی مورد بررسی

نمودار پایداری اسمکتیت و پالیگورسکیت که در شکل ۹ ارائه شده است، نشان می‌دهد که همه سنگ‌ها در گستره پایداری کانی پالیگورسکیت هستند. حضور همزمان این دو کانی و قرار گرفتن همه نمونه‌های سنگ در گستره پایداری پالیگورسکیت احتمال تبدیل کانی اسمکتیت به پالیگورسکیت را نشان می-دهد. با وجود نبود کانی پالیگورسکیت در برخی از نمونه‌های سنگ، شرایط زمین شیمیایی نشان‌دهنده پایداری کانی پالیگورسکیت و احتمال تشکیل آن از اسمکتیت است. از دلایل پیش بینی نادرست نمودارهای پایداری این دو کانی را کافی نبودن زمان تعادل در استخراج محلول خاک و رسوب برای پیش‌بینی شرایط زمین شیمیایی خاک‌ها و رسوب‌های قدیمی می‌دانند [۲۴]. در پژوهشی دیگر نیز، نمودار پایداری پالیگورسکیت-اسمکتیت، نشانگر پایداری بیشتر کانی پالیگورسکیت در رسوب‌های میوسن و پلیوسن نسبت به رسوب های ائوسن، الیگوسن و الیگوسن-میوسن است. بر این اساس با وجود نبود کانی پالیگورسکیت در رسوب‌های الیگوسن، شرایط زمین‌شیمیایی این رسوب‌ها گویای پایداری نسبی کانی پالیگورسکیت و تشکیل احتمالی آن از اسمکتیت است [۲۳].

جدول ۲ ترکیب عنصری بخش رسی سنگ‌های رسوبی مورد بررسی بر اساس نتایج SEM/EDX(برحسب درصد).

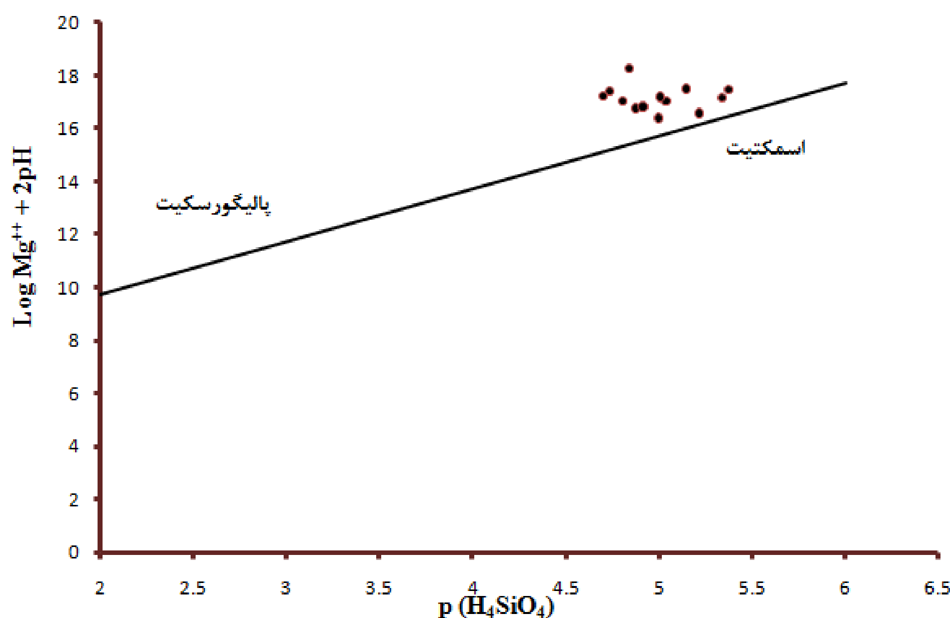
شماره نمونه	Si	Al	Mg	K	Fe	O	Na	Ca	Ti	Cl	S	کل	Mg/Ca
۱	۲۹٫۲۷	۷٫۲۹	۴٫۵۴	۳٫۷۳	۵٫۵۸	۳۵٫۲۱	۲٫۷۰	۱٫۵۱	۲٫۴۷	۵٫۲۹	۲٫۴۱	۱۰۰٫۰۰	۳٫۰۱
۲	۲۹٫۳۷	۶٫۴۱	۳٫۲۱	۳٫۴۰	۳٫۴۶	۴۱٫۶۴	۳٫۲۷	۱٫۶۱	۱٫۹۸	۳٫۳۱	۲٫۳۴	۱۰۰٫۰۰	۱٫۹۹
۳	۲۲٫۵۳	۹٫۱۷	۶٫۷۸	۴٫۰۵	۹٫۱۸	۳۵٫۱۳	۳٫۵۹	۱٫۴۹	۲٫۱۶	۳٫۵۳	۲٫۳۹	۱۰۰٫۰۰	۴٫۵۵
۴	۲۲٫۹۷	۸٫۵۴	۷٫۵۹	۳٫۷۳	۹٫۱۷	۳۴٫۲۹	۳٫۲۶	۱٫۴۵	۲٫۰۳	۴٫۳۹	۲٫۵۷	۱۰۰٫۰۰	۵٫۲۳
۵	۱۸٫۲۸	۱۰٫۳۴	۸٫۷۹	۳٫۱۴	۹٫۸۱	۳۲٫۱۷	۴٫۴۱	۱٫۹۴	۲٫۰۳	۶٫۸۷	۲٫۲۳	۱۰۰٫۰۰	۴٫۵۳
۶	۲۳٫۴۹	۱۰٫۸۲	۶٫۲۷	۴٫۰۸	۹٫۴۱	۳۵٫۴۵	۲٫۶۵	۱٫۴۳	۲٫۲۱	۲٫۴۹	۱٫۷۰	۱۰۰٫۰۰	۴٫۳۸
۷	۲۴٫۱۱	۱۰٫۰۴	۵٫۸۸	۴٫۴۰	۹٫۴۳	۳۳٫۷۷	۳٫۵۲	۱٫۷۲	۲٫۵۷	۲٫۳۹	۲٫۲۰	۱۰۰٫۰۰	۳٫۴۲
۸	۲۳٫۹۳	۱۰٫۴۴	۵٫۱۰	۵٫۵۶	۱۱٫۲۱	۳۱٫۹۲	۲٫۹۴	۱٫۶۲	۲٫۶۴	۲٫۰۶	۲٫۶۰	۱۰۰٫۰۰	۳٫۱۵
۹	۲۰٫۱۳	۷٫۱۷	۶٫۵۹	۵٫۵۸	۵٫۶۷	۲۹٫۹۳	۴٫۷۴	۲٫۱۲	۲٫۷۵	۱۲٫۱۲	۳٫۱۷	۱۰۰٫۰۰	۱۱٫۳
۱۰	۸٫۴۷	۴٫۵۶	۱۰٫۴۸	۲٫۷۵	۴٫۹۹	۲۹٫۳۴	۷٫۹۵	۲٫۹۵	۲٫۴۴	۲۱٫۰۶	۵٫۰۲	۱۰۰٫۰۰	۳٫۵۵
۱۱	۲۶٫۶۰	۵٫۷۹	۴٫۶۵	۵٫۸۸	۱۱٫۳۳	۲۷٫۱۶	۳٫۸۳	۴٫۱۹	۲٫۷۱	۵٫۲۰	۲٫۶۶	۱۰۰٫۰۰	۱٫۱۱
۱۲	۲۱٫۱۶	۱۲٫۲۰	۵٫۷۸	۵٫۵۶	۸٫۷۹	۲۲٫۱۵	۴٫۸۵	۲٫۸۹	۳٫۸۹	۸٫۷۲	۴٫۰۲	۱۰۰٫۰۰	۲٫۰۰
۱۳	۲۶٫۷۲	۱۳٫۲۸	۳٫۵۵	۶٫۱۹	۵٫۸۶	۳۰٫۳۴	۲٫۹۴	۱٫۶۹	۲٫۵۹	۵٫۰۷	۱٫۷۷	۱۰۰٫۰۰	۲٫۱۰

جدول ۳ ضرایب همبستگی بین شدت قله‌های مربوط به پالیگورسکیت و اسمکتیت و سایر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در سنگ‌های رسوبی مورد بررسی.

	شدت قله اسمکتیت	شدت قله پالیگورسکیت
منیزیم محلول	۰٫۱۳	۰٫۸۳**
کلسیم محلول	-۰٫۲۱	۰٫۱۸
سیلیسیم محلول	۰٫۴۴	۰٫۵۷
نسبت منیزیم به کلسیم محلول	۰٫۴۳	۰٫۸۲**
منیزیم کل	-۰٫۱۹	۰٫۱۲
کلسیم کل	-۰٫۵۲	-۰٫۹۰**
سیلیسیم کل	۰٫۲۵	۰٫۱۳
آلومینیم کل	۰٫۸۷**	۰٫۵
نسبت منیزیم به کلسیم کل	۰٫۳۱	۰٫۷۸*
اسیدیته	-۰٫۰۳	-۰٫۲۸
هدایت الکتریکی	-۰٫۰۳	۰٫۶۰
کربنات‌ها	-۰٫۳۵	-۰٫۸۰**
گچ	۰٫۳۷	۰٫۸۲**
شدت قله اسمکتیت	۱	-۰٫۱۴

*، ** به ترتیب نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد آماری هستند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.8.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.523]



شکل ۹ نمودار پایداری سامانه اسمکتیت-پالیگورسکیت براساس روابط ویور و بک [۲۰] و موقعیت نمونه‌ها در گستره پایداری پالیگورسکیت.

برداشت

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در برخی از سنگ‌های رسوبی دوران سنوزوئیک (پالئوژن و نئوژن) استان بوشهر، کانی رشته‌ای پالیگورسکیت حضور دارد. در قدیمی‌ترین نمونه‌های سنگ (شیل و مارن آهکی) که مربوط به اوایل دوره سنوزوئیک هستند، این کانی دیده نمی‌شود، اما در سنگ‌های رسوبی جوان‌تر، مقادیر متفاوت این کانی وجود دارد. نخستین شواهد حضور کانی پالیگورسکیت و اسمکتیت در سنگ آهک جهرم که مربوط به پالئوسن - ائوسن است، دیده شد. بیشترین شدت قله ۶/۵ آنگستروم (مربوط به کانی پالیگورسکیت) در سنگ‌های رسوبی میوسن-پلیوسن (سازند آغاجاری) است. این روند افزایشی در سنگ‌های رسوبی پلیوسن پسین (سازند بختیاری) ادامه ندارد و مقدار پالیگورسکیت بسیار ناچیز است. بر این اساس، می‌توان گفت که این منطقه نیز در معرض دریاچه‌ها و کولاب‌های کم‌عمق ایجاد شده پس از بسته شدن اقیانوس نئوتتیس قرار داشته و شرایط اقلیمی و زمین شیمیایی برای تشکیل این کانی فراهم شده است. با بسته شدن اقیانوس نئوتتیس و تشکیل حوضچه‌های کم عمق و با افزایش دمای هوا و ایجاد شرایط کولابی در منطقه، شرایط لازم برای تشکیل کانی‌هایی چون گچ و کربنات‌ها فراهم شده است که این کانی‌ها با افزایش pH محیط و نسبت منیزیم به کلسیم، محیط مناسبی برای تشکیل کانی پالیگورسکیت در منطقه فراهم نموده‌اند. مقدار ناچیز این کانی در پلیوسن پسین (سازند بختیاری) را می‌توان به از بین رفتن محیط‌های کولابی در منطقه نسبت داد. پژوهشگران سه شرط لازم برای تشکیل پالیگورسکیت در خاک‌ها و رسوب‌های ایران مرکزی بیان کرده‌اند [۵]: ۱) افزایش نسبت منیزیم به کلسیم به علت تبلور گچ در محیط‌های آبی کم‌عمق، ۲) افزایش pH محیط به علت اقلیم گرم و ۳) افزایش سیلیسیم محلول به علت محلول‌های گرمابی تغلیظ‌شده. در رسوب‌های مورد بررسی نیز افزایش نسبت منیزیم به کلسیم، افزایش سیلیسیم محلول به همراه اقلیم گرم و خشک در منطقه، شرایط زمین شیمیایی مناسب برای تشکیل و حضور کانی پالیگورسکیت را در دوران سنوزوئیک فراهم نموده است.

قدردانی

هزینه‌های این پژوهش از سوی دانشگاه صنعتی اصفهان تامین شده است که بدین‌وسیله قدردانی می‌گردد. همچنین، نویسندگان از زحمات داوران محترمی که با حوصله، دقت و

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.8.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.523]

صرف وقت ارزشمندشان پیشنهادهای بسیار خوب و سازنده‌ای ارائه نمودند، صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

[1] Gala N.E., "*Genesis of Clay Minerals*" *in*: Bergaya F., Theng B.K.G., Lagaly G., (Eds.), Handbook of Clay Science, Developments in Clay Science, Vol. I. Elsevier Ltd., Amsterdam. (2006) 1129-1162.

[2] Rostási Á., Raucsik B., Varga A., "*Palaeoenvironmental controls on the clay mineralogy of Carnian sections from the Transdanubian Range (Hungary)*" Palaeogeography Palaeoclimatology Paleoeoecology 300 (2011) 101-112.

[3] Ritz M., Vaculikova L., Plevova E., Matysek D., Malis J., "*Determination of chlorite, muscovite, albite and quartz in claystones and clay shales by infrared spectroscopy and partial least-squares regression*" Acta Geodynamica et Geomaterialia 9 (2012) 511-520.

[4] Bouza P.J., Simón M., Aguilar J., Valle H.D. Rostagno M., "*Fibrous-clay mineral formation and soil evolution in Aridisols of northeastern Patagonia, Argentina*" Geoderma 139 (2007) 38-50.

[5] Khademi H., Mermut A.R., "*Source of palygorskite in gypsiferous Aridisoils and associated sediments from central Iran*" Clay Minerals 33 (1998) 561-578.

[6] Khademi H., Hojati S., "*Distribution and mineral formation of palygorskite in some Tertiary sediments of central Iran (in Persian)*" Crystallography and Mineralogy of Iran 18 (2009) 113-124.

[7] Karimi A., Jalalian A., Khademi H., "*Formation and distribution of palygorskite and associated clay minerals in the soils and sediments of southern Mashhad (in Persian)*" Crystallography and Mineralogy of Iran 16 (4) (2008) 545-558.

[8] Gala´n E., Pozo M., "*Palygorskite and Sepiolite Deposits in Continental Environments. Description, Genetic Patterns and Sedimentary Settings" in*: Gala´n E., Singer A. (Eds.), Developments in Palygorskite-Sepiolite Research, A New Look at These Materials, Elsevier, Amsterdam (2011)125-173.

[9] Owliaie H.R., Abtahi A., Heck R.J., "*Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran*" Geoderma 134 (2006) 62-81.

[10] Henderson S.G., Robertson R.H.S., "*A mineralogical reconnaissance in western Iran*". Resource Use Ltd., Glasgow, UK (1958).

[11] Burnett A.D., Fookes P.G. Robertson R.H., "*An engineering soil at Kermanshah, Zagros Mountains, Iran*" Clay Minerals 9 (1972) 329-343.

[12] Farpoor M.H., Krouse H.R., "*Stable isotope geochemistry of sulfur bearing minerals and clay mineralogy of some soils and sediments in Loot Desert, central Iran*" *Geoderma* 146 (2008) 283-290.

[13] Hojati S., Khademi H., "*Genesis and Distribution of Palygorskite in Iranian Soils and Sediments*" *in*: Galan E., Singer A., (Eds.), Developments in Palygorskite-Sepiolite Research, A New Look at These Materials, Elsevier, Amsterdam (2011) 201-218.

[14] Khormali, F., Abtahi A., Owliaie H.R., "*Late Mesozoic-Cenozoic clay mineral successions of southern Iran and their paleoclimatic implications*" Clay Minerals 40 (2005) 191-203.

[15] Amirinejad A.A., Baghernejad M., "*Effects of topography on the formation and development of soils in Kermanshah region (in Persian)*" Iranian Journal of Agricultural Science 28 (1997) 99-110.

[16] Salehi MH., Khademi H., Karimian Eghbal M., "*Identification and Genesis of Clay Minerals Soils from Farrokhshahr Area, Chaharmahal and Bakhtiari Province (in Persian)*" Journal of Water and Soil Sciences 7 (1) (2003) 73-90.

[17] Alambladi M.A., *"General geology of Bushehr province (in Persian)*" (2008) Shilav publisher.

[18] USDA-NRCS., *"Soil Survey Laboratory Methods Manual*" Soil Survey Investigations Report, No. 42, Version 3. Nebraska (1996).

[19] Loeppert R.H., Suarez D.L., "*Carbonate and gypsum*" *in*: Sparks D. L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnson C.T., Sumner M.E. (Eds.), Methods of

[22] Jamoussi F., Ben Aboud A., Lopez-Galindo A., "*Palygorskite genesis through silicate transformation in Tunisian continental Eocene deposits*" Clay Minerals 38 (2003) 187-199.

[23] Hojati S., Khademi H.,"*Factors affecting palygorskite distribution and genesis in selected soils developed on Tertiary parent materials in the Isfahan Province*" Crystallography and Mineralogy of Iran 19 (2011) 15-28.

[24] Monger H.C., Daugherty L.A., "*Neoformation of palygorskite in a southern New Mexico Aridisol*" Soil Science Society of America Journal 55 (1991) 1646-1650.

Soil Analysis, Part 3, SSSA Special Publication, Madison, WI (1996) 437-474.

[20] Weaver C.E., Beck K.C., "*Miocene of S.E. United States: a model for chemical sedimentation in a peri-marine environment*" Sedimentary Geology, 17 (1977) 1-234.

[21] Mehra O.P., Jackson M.L., "*Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite citrate system with sodium bicarbonate*" Clays and Clay Minerals 7 (1960) 317-327.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.8.3]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.523]